

## 明細書

## イオンビーム計測方法およびイオン注入装置

## &lt;技術分野&gt;

この発明は、イオンビームを  $x$  方向に平行走査してターゲットに照射する方式のイオン注入装置において、前記  $x$  方向と直交する  $y$  方向のイオンビームの角度偏差、発散角およびビームサイズを計測するイオンビーム計測方法ならびに当該計測方法を制御装置を用いて行うことができるイオン注入装置に関する。

## &lt;背景技術&gt;

イオン注入技術は、昨今の半導体製造プロセス等においては、重要な位置を占めている。

ターゲット、例えば半導体基板へのイオン注入においては、半導体基板の結晶軸に対する注入角（入射角）によって、注入深さ方向に特異な注入特性を示すことが知られており、これを防ぐ、またはこれを積極的に利用するような条件でのイオン注入処理を可能にすることが、通常、イオン注入技術に求められている。

チャネリングと呼ばれる上記現象は、イオンの入射角が 0 度付近において特に入射角依存性が高いので、入射角が 0 度付近においてより高精度の入射角制御が要求されるけれども、その他の入射角においても、通常、高精度の入射角制御が要求される。

このような要求にある程度応えることのできるイオン注入装置の一例が特許第 3358336 号公報（段落 0002、0003、図 1）（以下、特許文献 1）に記載されている。この特許文献 1 に記載されているイオン注入装置と同様のイオン注入装置を図 1 に示す。

このイオン注入装置は、イオンビーム 4 を射出するイオン源 2 と、このイオン源 2 からのイオンビームが入射され当該イオンビーム 4 から所望質量のイオンビーム 4 を分離して取り出す質量分離器 6 と、この質量分離器 6 からのイオンビーム

ム4が入射され当該イオンビーム4を加速または減速する加減速器8と、この加減速器8からのイオンビーム4が入射され当該イオンビーム4から所望エネルギーのイオンビーム4を分離して取り出すエネルギー分離器10と、このエネルギー分離器10からのイオンビーム4が入射され当該イオンビーム4をx方向（例えば水平方向）に走査する走査器12と、この走査器12からのイオンビーム4が入射され当該イオンビーム4を曲げ戻して後述するz軸に平行になるように平行化するビーム平行化器14と、このビーム平行化器14からのイオンビーム4の照射領域内でターゲット（例えば半導体基板）16を前記x方向と直交するy方向（例えば垂直方向）に機械的に往復走査（往復駆動）する、または実質的にy方向に機械的に往復走査（往復駆動）するターゲット駆動装置20（図7も参照）とを備えている。

ここで、前記x方向（換言すればx軸）およびy方向（換言すればy軸）と直交する方向であって、ターゲット16に入射するイオンビーム4の設計上の軌道方向に前記z軸を取っている。

質量分離器6は、例えば、磁界によってイオンビーム4の質量分離を行う質量分離電磁石である。加減速器8は、例えば、複数枚の電極を有していて静電界によってイオンビーム4の加減速を行う加減速管である。エネルギー分離器10は、例えば、磁界によってイオンビーム4のエネルギー分離を行うエネルギー分離電磁石である。走査器12は、例えば、磁界によってイオンビーム4の走査を行う走査電磁石または電界によってイオンビーム4の走査を行う走査電極である。ビーム平行化器14は、例えば、磁界によってイオンビーム4の平行化を行うビーム平行化電磁石である。ターゲット駆動装置20は、例えば、図7も参照して、ターゲット16を保持するホルダ18を有しており、このホルダ18に保持されたターゲット16を、矢印22に示すように前記y方向または実質的にy方向に往復走査する。

上記構成によって、所望の質量および所望のエネルギーのイオンビーム4をx方向に平行走査しながらターゲット16に照射すると共に、このイオンビーム4に対して所定の角度で保持したターゲット16をy方向に機械的に往復走査して、

ターゲット 16 の全面に均一にイオンビーム 4 を照射して均一にイオン注入を行うことができる。このように、イオンビーム 4 の電磁的な走査とターゲット 16 の機械的な走査とを併用する方式は、ハイブリッドスキャン方式と呼ばれる。

この場合、イオンビーム 4 のビームライン上の各機器は、例えば質量分離器 6、エネルギー分離器 10、走査器 12 およびビーム平行化器 14 は、理想的には、 $x$  方向にのみ一次元でイオンビームを偏向し、 $y$  方向にはイオンビーム 4 を偏向しないように設計されている。従って、イオンビーム 4 の  $x$  方向の平行度を精度良く制御することによって、ターゲット 16 の表面には一定の入射角でイオンビーム 4 が照射されることになる。

ここで、ターゲット 16 に対するイオンビーム 4 の入射角とは、ターゲット 16 とイオンビーム 4 との相対的な角度のことであり、具体的には、ターゲット 16 の表面に立てた垂線とイオンビーム 4 との成す角をいう。この入射角には、より詳しく言えば、図 10A に示す例のような  $x$  方向の（即ち  $x - z$  平面内における）入射角  $\phi_x$  と、図 10B に示す例のような  $y$  方向の（即ち  $y - z$  平面内における）入射角  $\phi_y$  とがある。17 は前記垂線である。例えば、図 7 に示すターゲット 16 は、図 10B の例と同様に、 $y$  方向の入射角  $\phi_y$  が 0 度よりも大きくなるように保持されている場合の例である。

イオンビーム 4 の  $x$  方向の平行度とは、図 2 に示す例のように、走査かつ平行化されたイオンビーム 4 が  $x - z$  平面内において実際に辿る軌道と前記  $z$  軸方向との成す角  $\theta_x$  をいう。従って、例えば、走査かつ平行化されたイオンビーム 4 が  $z$  軸に完全に平行な軌道を辿る理想的な場合は  $\theta_x = 0^\circ$  である。また、この  $x$  方向の平行度  $\theta_x$  と前記  $x$  方向の入射角  $\phi_x$  とは大いに関係している。

また、図 3 に示す例のように、走査かつ平行化されたイオンビーム 4 が  $y - z$  平面内において実際に辿る軌道と  $z$  軸方向との成す角を  $\theta_y$  とし、これをこの明細書ではイオンビーム 4 の  $y$  方向の角度偏差と呼ぶ。従って、例えば、走査かつ平行化されたイオンビーム 4 が  $z$  軸に完全に平行な軌道を辿る理想的な場合は  $\theta_y = 0^\circ$  である。また、この  $y$  方向の角度偏差  $\theta_y$  と前記  $y$  方向の入射角  $\phi_y$  とは大いに関係している。

一般的に、荷電粒子ビーム、ここではイオンビーム 4 を特徴づける量として、全ビーム電流の他に、(a)ビーム電流密度分布を持ったイオンビーム 4 の中心が辿る中心軌道、(b)中心軌道に垂直な面内におけるビーム電流密度分布の広がりを示すビームサイズ、(c)イオンビーム 4 の中心軌道方向に対する各構成イオンの運動方向のずれを表す発散角、等がある。これらのより具体的な定義については、図 4 ～図 6 を参照して後述する。

イオンビーム 4 をターゲット 1 6 に照射してイオン注入を行う場合、イオンビーム 4 の入射角として最も重要な要素が、上記 (a) の中心軌道のターゲット 1 6 への入射角である。この入射角を所望の値に設定することにより、イオンビーム 4 を構成する大部分のイオンが平均として所望の入射角でターゲット 1 6 に入射することになる。但し、実際には、イオンビーム 4 を構成する各イオンがそれぞれ発散角を有しているので、各イオンの入射角は、上記中心軌道の入射角の周りに幾らかの幅をもって存在することになる。

従って、イオンビーム 4 のより高精度の入射角制御が要求される場合、まずは、イオンビーム 4 の中心軌道の入射角の高精度な制御を可能にすることが重要であり、次いで、高精度の発散角制御が可能であることが望ましい、と言える。

このような要求に一部応えることができる技術として、特許第 2969788 号公報（第 6 欄ー第 11 欄、図 1ー図 9）（以下、特許文献 2）には、イオンビームのビーム電流を計測する複数の検出器がイオンビームの走査方向（例えば前記 x 方向）にそれぞれ並設されて成る前段多点ファラデーおよび後段多点ファラデーを、ターゲットの上流側および下流側にそれぞれ設けておき、両多点ファラデーにおいて、走査中のイオンビームが同一時刻においてビーム走査方向のどの位置にあるかを測定し、その結果から、両多点ファラデーの間の空間におけるイオンビームのビーム走査方向の平行度（即ち、前記 x 方向の平行度  $\theta_x$ ）を測定する技術が記載されている。

図 7 に記載している前段多点ファラデー 24 が前記前段多点ファラデーに相当し、後段多点ファラデー 28 が前記後段多点ファラデーに相当する。両多点ファラデー 24、28 は、それぞれ、前記複数の検出器（例えばファラデーカップ。

図示省略)を有している。各検出器の前方には、図7の例では、スリット状の入口26、30がそれぞれ設けられている。

このような前段多点ファラデー24および後段多点ファラデー28を用いて、特許文献2に記載された前記技術に従って、イオンビーム4のx方向の平行度 $\theta_x$ を測定することができる。更に、その測定情報に基づいて、特許文献2に記載された技術に従って、ビーム平行化器14の駆動電流または駆動電圧を制御することによって、イオンビーム4のx方向の平行度 $\theta_x$ の高精度な制御も可能である。それによって、x-z平面内におけるイオンビーム4の中心軌道をz軸方向に精度良く揃えて、イオンビーム4のx方向の入射角 $\varphi_x$ を精度良く制御することができる。

例えば半導体デバイスの更なる高性能化、高微細化等に伴い、より具体例を挙げれば急峻な注入境界を持つイオン注入等を実現することができるよう、イオン注入技術には、更なる高精度の入射角制御を可能にすることが求められる傾向にある。そのためには、従来は問題にされていなかった、イオンビームの走査方向(x方向)に垂直なy方向のイオンビーム4の入射角をも精度良く制御することが重要である。

特に、半導体製造プロセスの微細化に伴って、イオン注入深さを浅くするために、低エネルギーのイオンビーム4を輸送してターゲット16に照射するが今後ますます重要になるけれども、イオンビーム4のエネルギーが低くなると、イオンビーム4を構成するイオン同士の電気的な反発(これを空間電荷効果とい)によって、イオンビーム4が強く発散角を持つ傾向になる。

それゆえに、高精度の入射角制御を行うには、まずは、イオンビーム4の走査方向と垂直なy方向の角度偏差 $\theta_y$ および発散角の一方、好ましくは両方を計測してそれを監視することが重要である。

また、例えば前述したようなハイブリッドスキャン方式のイオン注入装置の場合、通常、イオンビーム4のx方向の走査に比べてターゲット16のy方向の走査が低速度であるが、生産性を向上するためにy方向の走査速度を高速にしてゆくと、ターゲット16に対する注入の均一性は、イオンビーム4のy方向の分布

幅（ビームサイズ）によって影響を受ける可能性が高い。特に、イオンビーム4のy方向のビームサイズが極端に小さくなると、注入の均一性を低下させるので、高い注入均一性を確保するためには、ターゲット16上でのイオンビーム4のy方向のビームサイズを計測して当該ビームサイズを監視することも望ましいことである。

しかしながら、上記イオンビーム4のy方向の角度偏差 $\theta_y$ 、発散角、ビームサイズを計測するために、イオンビーム4のx方向の平行度等を計測するために従来から設けられている前段多点ファラデーおよび後段多点ファラデーとは全く別個のファラデー計測系を新たに設けると、(a)計測系が増えて構造が複雑になりコストも大幅に上昇すると共に、(b)計測時に、イオンビーム4のビームラインに対して、x方向の計測系とy方向の計測系とを入れ換える作業を行わなければならず、この入れ替え作業に要する時間が余分な時間となり、生産性を低下させることになる。

#### ＜発明の開示＞

この発明は、イオンビームの走査方向と垂直なy方向の角度偏差、発散角およびビームサイズの内の少なくとも一つを、好ましくは前の二つを、より好ましくは三つを、簡単な構成によって計測することができるイオンビーム計測方法を提供することを一つの目的としている。

また、上記イオンビーム計測方法を、制御装置を用いて行うことができるイオン注入装置を提供することを他の目的としている。

この発明に係るイオンビーム計測方法およびイオン注入装置では、前記前段多点ファラデーおよび後段多点ファラデーを用いる。更に、前記前段多点ファラデーの上流側近傍に設けられていて前記イオンビームを遮ることができるものであって前記x方向に平行な一辺を有する前段ビーム制限シャッターと、この前段ビーム制限シャッターを前記x方向と直交するy方向に駆動する前段シャッター駆動装置と、前記後段多点ファラデーの上流側近傍に設けられていて前記イオンビームを遮ることができるものであって前記x方向に平行な一辺を有する後段ビー

ム制限シャッターと、この後段ビーム制限シャッターを前記y方向に駆動する後段シャッター駆動装置とを設けておく。

そして、この発明に係る第1のイオンビーム計測方法では、前記前段シャッター駆動装置によって前記前段ビーム制限シャッターを前記y方向に駆動しつつ、当該前段ビーム制限シャッターの前記一辺の外側を通過して前記前段多点ファラデーに入射するイオンビームのビーム電流の変化を計測して、前記前段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記y方向のビーム電流密度分布を求める前段ビーム電流密度分布計測工程と、この前段ビーム電流密度分布計測工程で求めたビーム電流密度分布から、前記前段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記y方向の中心位置 $y_{cf}$ を求める前段中心位置算出工程と、前記後段シャッター駆動装置によって前記後段ビーム制限シャッターを前記y方向に駆動しつつ、当該後段ビーム制限シャッターの前記一辺の外側を通過して前記後段多点ファラデーに入射するイオンビームのビーム電流の変化を計測して、前記後段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記y方向のビーム電流密度分布を求める後段ビーム電流密度分布計測工程と、この後段ビーム電流密度分布計測工程で求めたビーム電流密度分布から、前記後段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記y方向の中心位置 $y_{cb}$ を求める後段中心位置算出工程と、前記前段中心位置算出工程で求めた前記中心位置 $y_{cf}$ 、前記後段中心位置算出工程で求めた前記中心位置 $y_{cb}$ および前記前段ビーム制限シャッターと前記後段ビーム制限シャッターとの間の距離Lを用いて、次の数1またはそれと数学的に等価な式に基づいて、前記イオンビームの前記y方向における角度偏差 $\theta_y$ を求める角度偏差算出工程とを行う。

[数1]

$$\theta_y = \tan^{-1} \{ (y_{cb} - y_{cf}) / L \}$$

この発明に係る第2のイオンビーム計測方法では、前記前段シャッター駆動装置によって前記前段ビーム制限シャッターを前記y方向に駆動しつつ、当該前段ビーム制限シャッターの前記一辺の外側を通過して前記前段多点ファラデーに入射するイオンビームのビーム電流の変化を計測して、前記前段ビーム制限シャッ

ターの位置での前記イオンビームの前記  $y$  方向のビーム電流密度分布を求める前段ビーム電流密度分布計測工程と、この前段ビーム電流密度分布計測工程で求めたビーム電流密度分布から、前記前段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記  $y$  方向のビームサイズ  $d_{yb}$  を求める前段ビームサイズ算出工程と、前記後段シャッター駆動装置によって前記後段ビーム制限シャッターを前記  $y$  方向に駆動しつつ、当該後段ビーム制限シャッターの前記一辺の外側を通過して前記後段多点ファラデーに入射するイオンビームのビーム電流の変化を計測して、前記後段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記  $y$  方向のビーム電流密度分布を求める後段ビーム電流密度分布計測工程と、この後段ビーム電流密度分布計測工程で求めたビーム電流密度分布から、前記後段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記  $y$  方向のビームサイズ  $d_{yb}$  を求める後段ビームサイズ算出工程と、前記前段ビームサイズ算出工程で求めた前記ビームサイズ  $d_{yb}$ 、前記後段ビームサイズ算出工程で求めた前記ビームサイズ  $d_{yb}$  および前記前段ビーム制限シャッターと前記後段ビーム制限シャッターとの間の距離  $L$  を用いて、次の数 2 またはそれと数学的に等価な式に基づいて、前記イオンビームの前記  $y$  方向における発散角  $\alpha_{max}$  を求める発散角算出工程とを行う。

[数 2]

$$\alpha_{max} = \tan^{-1} \{ (d_{yb} - d_{yb}) / 2L \}$$

この発明に係る第 3 のイオンビーム計測方法では、前記前段シャッター駆動装置によって前記前段ビーム制限シャッターを前記  $y$  方向に駆動しつつ、当該前段ビーム制限シャッターの前記一辺の外側を通過して前記前段多点ファラデーに入射するイオンビームのビーム電流の変化を計測して、前記前段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記  $y$  方向のビーム電流密度分布を求める前段ビーム電流密度分布計測工程と、この前段ビーム電流密度分布計測工程で求めたビーム電流密度分布から、前記前段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記  $y$  方向のビームサイズ  $d_{yb}$  を求める前段ビームサイズ算出工程と、前記後段シャッター駆動装置によって前記後段ビーム制限シャッターを前記  $y$  方向に駆動しつつ、当該後段ビーム制限シャッターの前記一辺の外側を通過して前

記後段多点ファラデーに入射するイオンビームのビーム電流の変化を計測して、前記後段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記y方向のビーム電流密度分布を求める後段ビーム電流密度分布計測工程と、この後段ビーム電流密度分布計測工程で求めたビーム電流密度分布から、前記後段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記y方向のビームサイズ $d_{yb}$ を求める後段ビームサイズ算出工程と、前記前段ビームサイズ算出工程で求めた前記ビームサイズ $d_{yf}$ 、前記後段ビームサイズ算出工程で求めた前記ビームサイズ $d_{yb}$ 、前記前段ビーム制限シャッターと前記後段ビーム制限シャッターとの間の距離 $L$ 、前記前段ビーム制限シャッターと前記ターゲットとの間の距離 $L_1$ および前記ターゲットと前記後段ビーム制限シャッターとの間の距離 $L_2$ を用いて、次の数3またはそれと数学的に等価な式に基づいて、前記ターゲット上でのイオンビームの前記y方向におけるビームサイズ $d_{yt}$ を求めるビームサイズ算出工程とを行う。

[数3]

$$d_{yt} = (L_2 / L) d_{yf} + (L_1 / L) d_{yb}, \text{ (但し } L = L_1 + L_2 \text{ )}$$

また、この発明に係る第4のイオンビーム計測方法では、前記前段ビーム電流密度分布計測工程、前記前段中心位置算出工程、前記後段ビーム電流密度分布計測工程、前記後段中心位置算出工程、前記角度偏差算出工程、前記前段ビームサイズ算出工程、前記後段ビームサイズ算出工程および前記発散角算出工程を行う。

更に、この発明に係る第5のイオンビーム計測方法では、前記前段ビーム電流密度分布計測工程、前記前段中心位置算出工程、前記後段ビーム電流密度分布計測工程、前記後段中心位置算出工程、前記角度偏差算出工程、前記前段ビームサイズ算出工程、前記後段ビームサイズ算出工程、前記発散角算出工程および前記ビームサイズ算出工程を行う。

この発明に係るイオン注入装置は、前記工程に相当する処理の内の所定のものを行う制御装置を備えている。

上記第1のイオンビーム計測方法及び該方法の工程に相当する処理の内の所定のものを行う制御装置を備えたイオン注入装置によれば、イオンビームの走査方向と垂直なy方向の角度偏差 $\theta$ を計測することができる。しかもこの計測を、イ

オンビームの走査方向の平行度等を計測するために設けられている前段多点ファラデーおよび後段多点ファラデーを利用して行うので、新たにファラデー計測系を設ける必要がない。従って、簡素な構成によって上記計測を行うことができる。また、ビームラインに対して、 $x$  方向の計測系と  $y$  方向の計測系とを入れ換える作業が不要であるので、その分、余分な時間が減り、生産性が向上する。

上記第 2 のイオンビーム計測方法及び該方法の工程に相当する処理の内の所定のものを行う制御装置を備えたイオン注入装置によれば、イオンビームの走査方向と垂直な  $y$  方向の発散角  $\alpha_{\max}$  を計測することができる。しかもこの計測を、イオンビームの走査方向の平行度等を計測するために設けられている前段多点ファラデーおよび後段多点ファラデーを利用して行うので、新たにファラデー計測系を設ける必要がない。従って、簡素な構成によって上記計測を行うことができる。また、ビームラインに対して、 $x$  方向の計測系と  $y$  方向の計測系とを入れ換える作業が不要であるので、その分、余分な時間が減り、生産性が向上する。

上記第 3 のイオンビーム計測方法及び該方法の工程に相当する処理の内の所定のものを行う制御装置を備えたイオン注入装置によれば、ターゲット上のイオンビームの  $y$  方向におけるビームサイズ  $d_{yt}$  を計測することができる。しかもこの計測を、イオンビームの走査方向の平行度等を計測するために設けられている前段多点ファラデーおよび後段多点ファラデーを利用して行うので、新たにファラデー計測系を設ける必要がない。従って、簡素な構成によって上記計測を行うことができる。また、ビームラインに対して、 $x$  方向の計測系と  $y$  方向の計測系とを入れ換える作業が不要であるので、その分、余分な時間が減り、生産性が向上する。

上記第 4 のイオンビーム計測方法及び該方法の工程に相当する処理の内の所定のものを行う制御装置を備えたイオン注入装置によれば、前記  $y$  方向の角度偏差  $\theta_y$  および前記  $y$  方向の発散角  $\alpha_{\max}$  を、簡素な構成によって計測することができる。また、上記と同様の理由によって、生産性も向上する。

上記第 5 のイオンビーム計測方法及び該方法の工程に相当する処理の内の所定のものを行う制御装置を備えたイオン注入装置によれば、前記  $y$  方向の角度偏差

$\theta_y$ 、前記 y 方向の発散角  $\alpha_{\max}$  および前記ターゲット上での y 方向のビームサイズ  $d_{yt}$  を、簡素な構成によって計測することができる。また、上記と同様の理由によって、生産性も向上する。

#### ＜図面の簡単な説明＞

図 1 は、従来のイオン注入装置の一例を示す概略図であり、

図 2 は、イオンビームの平行度  $\theta_x$  の例を示す図であり、

図 3 は、イオンビームの y 方向の角度偏差  $\theta_y$  の例を示す図であり、

図 4 は、イオンビームの y 方向のビーム電流密度分布  $j(y)$  の例を示す図であり、

図 5 は、イオンビームの y 方向のビームサイズ  $d_y$  の例を示す図であり、

図 6 は、イオンビームの y 方向の発散角  $\alpha_{\max}$  の例を示す図であり、

図 7 は、この発明に係るイオンビーム計測方法を実施するイオン注入装置の一実施形態の要部を示す図であり、

図 8 は、前段ビーム制限シャッターの位置での y 方向のビーム電流密度分布を計測する方法の一例を示す図であり、

図 9 は、前段ビーム制限シャッターの位置での y 方向のビーム電流密度分布の一例を示す図であり、そして、

図 10 は、ターゲットへのイオンビームの入射角の例を示す図であり、(A) は x 方向の入射角  $\phi_x$  を示し、(B) は y 方向の入射角  $\phi_y$  を示す。

尚、図中の符号、4 はイオンビーム、16 はターゲット、20 はターゲット駆動装置、24 は前段多点ファラデー、28 は後段多点ファラデー、32 は前段ビーム制限シャッター、34 と 44 は一辺、36 は前段シャッター駆動装置、42 は後段ビーム制限シャッター、46 は後段シャッター駆動装置、50 は制御装置である。

#### ＜発明を実施するための最良の形態＞

図 7 は、この発明に係るイオンビーム計測方法を実施するイオン注入装置の一

実施形態の要部を示す図である。イオン注入装置全体の構成は、例えば、図1およびそれに関する前記説明を参照するものとする。また、図1に示した例と同一または相当する部分には同一符号を付し、以下においては当該例との相違点を主に説明する。

このイオン注入装置は、イオンビーム4の進行方向であるz軸上の位置に関して、ターゲット16の上流側の位置 $z_{ff}$ に前記前段多点ファラデー24を有しており、ターゲット16の下流側の位置 $z_{fb}$ に前記後段多点ファラデー28を有している。ターゲット16のz軸上の位置を $z_t$ とする。ターゲット16が図7に示す例のように傾いている場合は、ターゲット16の中心のz軸上の位置を $z_t$ とする。

前段多点ファラデー24の上流側の近傍の位置 $z_f$ に、前記x方向に平行走査されたイオンビーム4を遮ることができる前段ビーム制限シャッター32が設けられている。この前段ビーム制限シャッター32は、前記x方向に平行な一辺34を有している。この一辺34は、前記x方向と精密に平行に保つのが好ましい。前段ビーム制限シャッター32は、この例ではx方向に長い長方形をしているが、それに限らない。また、前記一辺34は、この例では前段ビーム制限シャッター32の下辺であるが、上辺でも良い。

前段ビーム制限シャッター32を保持してそれを、矢印38に示すように、前記y方向に往復駆動する前段シャッター駆動装置36が設けられている。この前段シャッター駆動装置36は、この例では、前段ビーム制限シャッター32のy方向の位置を精密に制御する制御回路および前記一辺34のy方向の位置 $y_1$ を精密に計測して出力する位置センサー（いずれも図示省略）を有している。

このイオン注入装置は、更に、後段多点ファラデー28の上流側の近傍の位置 $z_b$ に、より具体的にはターゲット16よりも下流側であって後段多点ファラデー28の上流側近傍の位置 $z_b$ に、前記x方向に平行走査されたイオンビーム4を遮ることができる後段ビーム制限シャッター42が設けられている。この後段ビーム制限シャッター42は、前記x方向に平行な一辆44を有している。この一辆44は、前記x方向と精密に平行に保つのが好ましい。後段ビーム制限シャ

ッター 4 2 は、この例では  $x$  方向に長い長方形をしているが、それに限らない。また、前記一辺 4 4 は、この例では後段ビーム制限シャッター 4 2 の下辺であるが、上辺でも良い。

後段ビーム制限シャッター 4 2 を保持してそれを、矢印 4 8 に示すように、前記  $y$  方向に往復駆動する後段シャッター駆動装置 4 6 が設けられている。この後段シャッター駆動装置 4 6 は、この例では、後段ビーム制限シャッター 4 2 の  $y$  方向の位置を精密に制御する制御回路および前記一辺 4 4 の  $y$  方向の位置  $y_1$  を精密に計測して出力する位置センサー（いずれも図示省略）を有している。

図 6 も参照して、 $z$  軸に沿う方向における前段ビーム制限シャッター 3 2 と後段ビーム制限シャッター 4 2 との間の距離、即ち位置  $z_f$  と位置  $z_b$  との間の距離を  $L$ 、前段ビーム制限シャッター 3 2 とターゲット 1 6 との間の距離、即ち位置  $z_f$  と位置  $z_t$  との間の距離を  $L_1$ 、ターゲット 1 6 と後段ビーム制限シャッター 4 2 との間の距離、即ち位置  $z_t$  と位置  $z_b$  との間の距離を  $L_2$  とする。従って、 $L = L_1 + L_2$  である。

この実施形態では、更に、後述する各処理を行う制御装置 5 0 を備えている。

制御装置 5 0 は、前段シャッター駆動装置 3 6、後段シャッター駆動装置 4 6 をそれぞれ制御して前段ビーム制限シャッター 3 2、後段ビーム制限シャッター 4 2 を前記のようにそれぞれ駆動させると共に、前段シャッター駆動装置 3 6、後段シャッター駆動装置 4 6 から前記位置  $y_1$  の情報をそれぞれ取り込む。更に、前段多点ファラデー 2 4、後段多点ファラデー 2 8 から、後述するビーム電流  $S_{f,i}(y)$ 、 $S_{b,i}(y)$  の情報をそれぞれ取り込む。

更に、制御装置 5 0 には、上記距離  $L$ 、 $L_1$  および  $L_2$  の情報が与えられる（例えれば設定される）。但し、距離  $L$  の情報を与えずに、制御装置 5 0 内で  $L = L_1 + L_2$  の演算を行わせても良い。

ここで、この明細書における、イオンビーム 4 の  $y$  方向の中心軌道、ビームサインズおよび発散角の定義について説明する。

図 4 に、イオンビーム 4 の  $y$  方向のビーム電流密度  $j$  の分布  $j(y)$  の例を示す。一般的に、ビーム電流密度  $j(y)$  は必ずしも単純な形状になるとは限らない。

いので、ここでは、図4に示されているような形状を例として取り上げる。このとき、ビーム電流密度分布  $j(y)$  の積分の中心位置を  $y_c$  とする。即ち、図4中にハッチングを付した上半分の面積  $S_u$  と下半分の面積  $S_b$  とが互いに等しくなる位置が中心位置  $y_c$  である。このイオンビーム4の中心位置  $y_c$  の軌道が、イオンビーム4のy方向の中心軌道である。

上記中心位置  $y_c$  が、z軸に沿って所定の距離だけ離れた2点間で異なっている場合、具体的には距離  $L$  だけ離れた前記前段ビーム制限シャッター32の位置  $z_f$  と前記後段ビーム制限シャッター42の位置  $z_b$  (図6、図7参照)との間で異なっている場合、イオンビーム4の中心軌道はy方向に角度偏差  $\theta_y$  を持つことになる。この場合、前段ビーム制限シャッター32の位置  $z_f$  および後段ビーム制限シャッター42の位置  $z_b$  におけるイオンビーム4の中心位置  $y_c$  をそれぞれ  $y_{cf}$ 、 $y_{cb}$  とすると、角度偏差  $\theta_y$  は前記数1で表される。

次に、イオンビーム4のy方向のビームサイズについて説明する。図5に示す例において、ビーム電流密度分布  $j(y)$  中のビーム電流  $j$  の最大値を  $j_p$  とし、この最大値  $j_p$  に対して十分に小さい割合、例えば10%の値を  $j_d$  とする。そして、ビーム電流密度分布  $j(y)$  中のy方向における上下の最も外側に位置していてビーム電流  $j$  の値が上記値  $j_d$  を横切る2点間の距離を  $d_y$  とし、これをイオンビーム4のy方向のビームサイズとする。

次に、イオンビーム4のy方向の発散角について説明する。図6には、前記前段ビーム制限シャッター32の位置  $z_f$  におけるビーム電流密度分布  $j_f(y)$  の例と、前記後段ビーム制限シャッター42の位置  $z_b$  におけるビーム電流密度分布  $j_b(y)$  の例が示されている。一般的に言って、ビーム電流密度分布  $j(y)$  はイオンビーム4の進行方向であるz軸上の位置によって異なっており、従って上記ビームサイズ  $d_y$  も異なっている。これは、イオンビーム4を構成する個々のイオンの運動方向がイオンビーム4の中心軌道の方向と必ずしも一致していないことによる。ここでは、前段ビーム制限シャッター32の位置  $z_f$  での前記ビームサイズを  $d_{y_f}$  とし、後段ビーム制限シャッター42の位置  $z_b$  での前記ビームサイズを  $d_{y_b}$  とする。従って、 $d_{y_f} < d_{y_b}$  であればイオンビーム4は両位置  $z_f$ 、

$z_b$  間で  $y$  方向に発散しており、  $d_{y_f} > d_{y_b}$  であれば集束していることになる。この両位置  $z_f$ 、  $z_b$  間でのイオンビーム 4 の  $y$  方向の発散角を  $\alpha_{\max}$  とすると、この発散角  $\alpha_{\max}$  は前記数 2 で表される。

また、ターゲット 1 6 上での  $y$  方向のビームサイズ  $d_{y_t}$  は、前記数 3 で表される。

次に、上記のように表される角度偏差  $\theta_y$ 、発散角  $\alpha_{\max}$  およびビームサイズ  $d_{y_t}$  の計測方法について説明する。

イオンビーム 4 は、この計測に先立って、例えば前記特許文献 2 に記載の技術またはそれと同様の技術に従って、 $x$  方向の平行度  $\theta_x$  を所望の値に、例えば  $\theta_x = 0^\circ$  に調整しておくのが好ましい。

計測に際しては、図 8 に示すように、前段多点ファラデー 2 4 をイオンビーム 4 の経路上に位置させておいて、前段シャッター駆動装置 3 6 によって前段ビーム制限シャッター 3 2 を  $y$  方向に駆動しつつ、前段多点ファラデー 2 4 に入射するイオンビーム 4 のビーム電流を前段多点ファラデー 2 4 によって計測する。この前段ビーム制限シャッター 3 2 の駆動は、前段ビーム制限シャッター 3 2 がイオンビーム 4 を全く遮っていない状態から遮る状態への駆動でも良いけれども、ここでは、前段ビーム制限シャッター 3 2 がイオンビーム 4 を完全に遮っている状態から遮らない状態への駆動を例に説明する。その前段ビーム制限シャッター 3 2 の駆動方向を矢印 3 9 で示す。この場合、初めはイオンビーム 4 は前段ビーム制限シャッター 3 2 によって完全に遮られているため、前段多点ファラデー 2 4 にはイオンビーム 4 は全く入射しない。このときの前段ビーム制限シャッター 3 2 の前記一辺 3 4 の  $y$  座標位置を  $y_0$  とする。

そして、前段ビーム制限シャッター 3 2 が、矢印 3 9 で示すように  $y$  方向に駆動されると、駆動が進むにつれて、前段ビーム制限シャッター 3 2 によって遮られていたイオンビーム 4 の一部が前記一辺 3 4 の外側を通過して徐々に前段多点ファラデー 2 4 に入射するようになる。ここで、イオンビーム 4 の少なくとも一部が前段多点ファラデー 2 4 に入射しているときの前段ビーム制限シャッター 3 2 の前記一辺 3 4 の  $y$  座標位置を  $y_1$  とする。

今、前段多点ファラデー24のx方向におけるi番目の検出器（例えばファラデーカップ）に着目し、その中心のx座標位置を $x_i$ とする。このとき、前段ビーム制限シャッター32の位置 $z_f$ において、x座標 $x_i$ でのy方向の前記ビーム電流密度分布 $j_f(y)$ を表す関数を $j_{f,i}(y)$ とする。このとき、i番目の検出器で計測されるビーム電流 $S_{f,i}(y_1)$ は、次の数4で表される。これを図示したのが図9である。ここでは、ビーム電流密度 $j_{f,i}$ は、 $y_0$ 以下ではゼロであるとしている。

[数4]

$$S_{f,i}(y_1) = \int_{y_0}^{y_1} j_{f,i}(y) dy$$

従って、前段シャッター駆動装置36によって前段ビーム制限シャッター32をy方向に駆動しつつ、前段多点ファラデー24でビーム電流 $S_{f,i}(y)$ を計測し、かつその次式で表される変化率から、位置 $z_f$ 、 $x_i$ でのイオンビーム4のy方向のビーム電流密度分布 $j_{f,i}(y)$ を求めることができる。これが、前段ビーム電流密度分布計測工程であり、これを行う。

[数5]

$$dS_{f,i}(y) / dy = j_{f,i}(y)$$

上記と同様の方法によって、後段多点ファラデー28、後段ビーム制限シャッター42および後段シャッター駆動装置46を用いて、位置 $z_b$ 、 $x_i$ でのイオンビーム4のy方向のビーム電流密度分布 $j_{b,i}(y)$ を求めることができる。これが、後段ビーム電流密度分布計測工程であり、これを行う。なお、この後段での計測時は、その計測の妨げにならないように、前段ビーム制限シャッター32、前段多点ファラデー24およびターゲット16をイオンビーム4の経路から外しておく。この制御を制御装置50に行わせても良い。この場合、前段多点ファラデー24は、図示しない駆動装置を用いてイオンビーム4の経路から外すようすれば良い。

更に、上記のようにして求めたビーム電流密度分布 $j_{f,i}(y)$ 、 $j_{b,i}(y)$ から、

前段ビーム制限シャッター 3 2、後段ビーム制限シャッター 4 2のそれぞれの位置  $z_f$ 、 $z_b$ でのイオンビーム 4 の  $y$  方向の中心位置  $y_{cf}$ 、 $y_{cb}$ をそれぞれ求める。イオンビーム 4 の  $y$  方向の中心位置の定義は、図 4 を参照して先に説明した。これが、前段中心位置算出工程および後段中心位置算出工程である。

更に、上記のようにして求めた中心位置  $y_{cf}$ 、 $y_{cb}$  および前記距離  $L$  を用いて、前記数 1 またはそれと数学的に等価な式に基づいて、イオンビーム 4 の  $y$  方向の角度偏差  $\theta_y$ を求める。これが、角度偏差算出工程である。これによって、イオンビーム 4 の  $y$  方向における中心軌道の状況を知ることができる。

また、この実施形態では、制御装置 5 0 は、前記前段ビーム電流密度分布計測工程と同じ内容の前段ビーム電流密度分布計測処理、前記後段ビーム電流密度分布計測工程と同じ内容の後段ビーム電流密度分布計測処理、前記前段中心位置算出工程と同じ内容の前段中心位置算出処理、前記後段中心位置算出工程と同じ内容の後段中心位置算出処理および前記角度偏差算出工程と同じ内容の角度偏差算出処理を行うことができる。

更に、必要に応じて、上記のようにして求めたビーム電流密度分布  $j_{f,i}(y)$ 、 $j_{b,i}(y)$  から、前段ビーム制限シャッター 3 2、後段ビーム制限シャッター 4 2のそれぞれの位置  $z_f$ 、 $z_b$ でのイオンビーム 4 の  $y$  方向のビームサイズ  $d_{yf}$ 、 $d_{yb}$ をそれぞれ求める。イオンビーム 4 の  $y$  方向のビームサイズの定義は、図 5 および図 6 を参照して先に説明した。これが、前段ビームサイズ算出工程および後段ビームサイズ算出工程である。

更に、必要に応じて、上記のようにして求めたビームサイズ  $d_{yf}$ 、 $d_{yb}$  および前記距離  $L$  を用いて、前記数 2 またはそれと数学的に等価な式に基づいて、イオンビーム 4 の  $y$  方向における発散角  $\alpha_{max}$ を求める。この発散角  $\alpha_{max}$ の定義は、先に図 6 を参照して説明した。これが、発散角算出工程である。

更に、必要に応じて、上記のようにして求めたビームサイズ  $d_{yf}$ 、 $d_{yb}$ 、前記距離  $L$ 、 $L_1$  および  $L_2$  を用いて、前記数 3 またはそれと数学的に等価な式に基づいて、ターゲット 1 6 上でのイオンビーム 4 の  $y$  方向におけるビームサイズ  $d_{yt}$  (図 6 も参照) を求める。これが、ビームサイズ算出工程である。

上記制御装置 50 に、必要に応じて更に、前記前段ビームサイズ算出工程と同じ内容の前段ビームサイズ算出処理、前記後段ビームサイズ算出工程と同じ内容の後段ビームサイズ算出処理、前記発散角算出工程と同じ内容の発散角算出処理および前記ビームサイズ算出工程と同じ内容のビームサイズ算出処理を行わせても良く、この実施形態では、制御装置 50 はこれらの処理をも行うことができる。

なお、前段多点ファラデー 24 が  $n$  個 ( $n$  は 2 以上の整数) の検出器を  $x$  方向に有する場合、前記  $i$  は 1 から  $n$  までの任意のものである。後段多点ファラデー 28 においても同様である。従って、 $x$  方向における 1 から  $n$  までの内の任意の番目の検出器を用いて、当該検出器の位置において、上記と同様の計測を行うことができる。

本発明を詳細にまた特定の実施態様を参照して説明したが、本発明の精神と範囲を逸脱することなく様々な変更や修正を加えることができることは当業者にとって明らかである。

本出願は、2004 年 1 月 6 日出願の日本特許出願（特願 2004-001006）に基づくものであり、その内容はここに参照として取り込まれる。

## 請 求 の 範 囲

1. イオンビームを  $x$  方向に平行走査してターゲットに照射する装置であつて、当該イオンビームのビーム電流を計測する複数の検出器が前記  $x$  方向にそれぞれ並設されて成る前段多点ファラデーおよび後段多点ファラデーをターゲットの上流側および下流側にそれぞれ有しているイオン注入装置において、

前記前段多点ファラデーの上流側近傍に設けられていて前記イオンビームを遮ることができるものであつて前記  $x$  方向に平行な一辺を有する前段ビーム制限シャッターと、

この前段ビーム制限シャッターを前記  $x$  方向と直交する  $y$  方向に駆動する前段シャッター駆動装置と、

前記後段多点ファラデーの上流側近傍に設けられていて前記イオンビームを遮ることができるものであつて前記  $x$  方向に平行な一辺を有する後段ビーム制限シャッターと、

この後段ビーム制限シャッターを前記  $y$  方向に駆動する後段シャッター駆動装置とを設けておき、

前記前段シャッター駆動装置によって前記前段ビーム制限シャッターを前記  $y$  方向に駆動しつつ、当該前段ビーム制限シャッターの前記一辺の外側を通過して前記前段多点ファラデーに入射するイオンビームのビーム電流の変化を計測して、前記前段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記  $y$  方向のビーム電流密度分布を求める前段ビーム電流密度分布計測工程と、

この前段ビーム電流密度分布計測工程で求めたビーム電流密度分布から、前記前段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記  $y$  方向の中心位置  $y_{cf}$  を求める前段中心位置算出工程と、

前記後段シャッター駆動装置によって前記後段ビーム制限シャッターを前記  $y$  方向に駆動しつつ、当該後段ビーム制限シャッターの前記一辺の外側を通過して前記後段多点ファラデーに入射するイオンビームのビーム電流の変化を計測して、前記後段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記  $y$  方向のビー

ム電流密度分布を求める後段ビーム電流密度分布計測工程と、

この後段ビーム電流密度分布計測工程で求めたビーム電流密度分布から、前記後段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記y方向の中心位置 $y_{cb}$ を求める後段中心位置算出工程と、

前記前段中心位置算出工程で求めた前記中心位置 $y_{cf}$ 、前記後段中心位置算出工程で求めた前記中心位置 $y_{cb}$ および前記前段ビーム制限シャッターと前記後段ビーム制限シャッターとの間の距離 $L$ を用いて、次式またはそれと数学的に等価な式に基づいて、前記イオンビームの前記y方向における角度偏差 $\theta_y$ を求める角度偏差算出工程とを行うことを特徴とするイオンビーム計測方法。

$$\theta_y = \tan^{-1} \{ (y_{cb} - y_{cf}) / L \}$$

2. イオンビームをx方向に平行走査してターゲットに照射する装置であって、当該イオンビームのビーム電流を計測する複数の検出器が前記x方向にそれぞれ並設されて成る前段多点ファラデーおよび後段多点ファラデーをターゲットの上流側および下流側にそれぞれ有しているイオン注入装置において、

前記前段多点ファラデーの上流側近傍に設けられていて前記イオンビームを遮ることができるものであって前記x方向に平行な一辺を有する前段ビーム制限シャッターと、

この前段ビーム制限シャッターを前記x方向と直交するy方向に駆動する前段シャッター駆動装置と、

前記後段多点ファラデーの上流側近傍に設けられていて前記イオンビームを遮ることができるものであって前記x方向に平行な一辺を有する後段ビーム制限シャッターと、

この後段ビーム制限シャッターを前記y方向に駆動する後段シャッター駆動装置とを設けておき、

前記前段シャッター駆動装置によって前記前段ビーム制限シャッターを前記y方向に駆動しつつ、当該前段ビーム制限シャッターの前記一辺の外側を通過して前記前段多点ファラデーに入射するイオンビームのビーム電流の変化を計測して、前記前段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記y方向のビ

ム電流密度分布を求める前段ビーム電流密度分布計測工程と、

この前段ビーム電流密度分布計測工程で求めたビーム電流密度分布から、前記前段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記y方向のビームサイズ $d_{y_f}$ を求める前段ビームサイズ算出工程と、

前記後段シャッター駆動装置によって前記後段ビーム制限シャッターを前記y方向に駆動しつつ、当該後段ビーム制限シャッターの前記一辺の外側を通過して前記後段多点ファラデーに入射するイオンビームのビーム電流の変化を計測して、前記後段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記y方向のビーム電流密度分布を求める後段ビーム電流密度分布計測工程と、

この後段ビーム電流密度分布計測工程で求めたビーム電流密度分布から、前記後段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記y方向のビームサイズ $d_{y_b}$ を求める後段ビームサイズ算出工程と、

前記前段ビームサイズ算出工程で求めた前記ビームサイズ $d_{y_f}$ 、前記後段ビームサイズ算出工程で求めた前記ビームサイズ $d_{y_b}$ および前記前段ビーム制限シャッターと前記後段ビーム制限シャッターとの間の距離Lを用いて、次式またはそれと数学的に等価な式に基づいて、前記イオンビームの前記y方向における発散角 $\alpha_{max}$ を求める発散角算出工程とを行うことを特徴とするイオンビーム計測方法。

$$\alpha_{max} = \tan^{-1} \{ (d_{y_b} - d_{y_f}) / 2L \}$$

3. イオンビームをx方向に平行走査してターゲットに照射する装置であつて、当該イオンビームのビーム電流を計測する複数の検出器が前記x方向にそれぞれ並設されて成る前段多点ファラデーおよび後段多点ファラデーをターゲットの上流側および下流側にそれぞれ有しているイオン注入装置において、

前記前段多点ファラデーの上流側近傍に設けられていて前記イオンビームを遮ることができるものであつて前記x方向に平行な一辺を有する前段ビーム制限シャッターと、

この前段ビーム制限シャッターを前記x方向と直交するy方向に駆動する前段シャッター駆動装置と、

前記後段多点ファラデーの上流側近傍に設けられていて前記イオンビームを遮

することができるものであって前記 x 方向に平行な一邊を有する後段ビーム制限シャッターと、

この後段ビーム制限シャッターを前記 y 方向に駆動する後段シャッター駆動装置とを設けておき、

前記前段シャッター駆動装置によって前記前段ビーム制限シャッターを前記 y 方向に駆動しつつ、当該前段ビーム制限シャッターの前記一邊の外側を通過して前記前段多点ファラデーに入射するイオンビームのビーム電流の変化を計測して、前記前段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記 y 方向のビーム電流密度分布を求める前段ビーム電流密度分布計測工程と、

この前段ビーム電流密度分布計測工程で求めたビーム電流密度分布から、前記前段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記 y 方向のビームサイズ  $d_{y_f}$  を求める前段ビームサイズ算出工程と、

前記後段シャッター駆動装置によって前記後段ビーム制限シャッターを前記 y 方向に駆動しつつ、当該後段ビーム制限シャッターの前記一邊の外側を通過して前記後段多点ファラデーに入射するイオンビームのビーム電流の変化を計測して、前記後段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記 y 方向のビーム電流密度分布を求める後段ビーム電流密度分布計測工程と、

この後段ビーム電流密度分布計測工程で求めたビーム電流密度分布から、前記後段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記 y 方向のビームサイズ  $d_{y_b}$  を求める後段ビームサイズ算出工程と、

前記前段ビームサイズ算出工程で求めた前記ビームサイズ  $d_{y_f}$ 、前記後段ビームサイズ算出工程で求めた前記ビームサイズ  $d_{y_b}$ 、前記前段ビーム制限シャッターと前記後段ビーム制限シャッターとの間の距離  $L$ 、前記前段ビーム制限シャッターと前記ターゲットとの間の距離  $L_1$  および前記ターゲットと前記後段ビーム制限シャッターとの間の距離  $L_2$  を用いて、次式またはそれと数学的に等価な式に基づいて、前記ターゲット上でのイオンビームの前記 y 方向におけるビームサイズ  $d_{y_t}$  を求めるビームサイズ算出工程とを行うことを特徴とするイオンビーム計測方法。

$$d_{yt} = (L_2 / L) d_{yf} + (L_1 / L) d_{yb}, \text{ (但し } L = L_1 + L_2 \text{ )}$$

4. 前記前段ビーム電流密度分布計測工程で求めたビーム電流密度分布から、前記前段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記y方向のビームサイズ  $d_{yf}$  を求める前段ビームサイズ算出工程と、

前記後段ビーム電流密度分布計測工程で求めたビーム電流密度分布から、前記後段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記y方向のビームサイズ  $d_{yb}$  を求める後段ビームサイズ算出工程と、

前記前段ビームサイズ算出工程で求めた前記ビームサイズ  $d_{yf}$ 、前記後段ビームサイズ算出工程で求めた前記ビームサイズ  $d_{yb}$  および前記前段ビーム制限シャッターと前記後段ビーム制限シャッターとの間の距離  $L$  を用いて、次式またはそれと数学的に等価な式に基づいて、前記イオンビームの前記y方向における発散角  $a_{max}$  を求める発散角算出工程とを更に行うことを特徴とする請求の範囲第1項に記載のイオンビーム計測方法。

$$a_{max} = \tan^{-1} \{ (d_{yb} - d_{yf}) / 2L \}$$

5. 前記前段ビームサイズ算出工程で求めた前記ビームサイズ  $d_{yf}$ 、前記後段ビームサイズ算出工程で求めた前記ビームサイズ  $d_{yb}$ 、前記前段ビーム制限シャッターと前記後段ビーム制限シャッターとの間の距離  $L$ 、前記前段ビーム制限シャッターと前記ターゲットとの間の距離  $L_1$  および前記ターゲットと前記後段ビーム制限シャッターとの間の距離  $L_2$  を用いて、次式またはそれと数学的に等価な式に基づいて、前記ターゲット上でのイオンビームの前記y方向におけるビームサイズ  $d_{yt}$  を求めるビームサイズ算出工程とを更に行うことを特徴とする請求の範囲第4項に記載のイオンビーム計測方法。

$$d_{yt} = (L_2 / L) d_{yf} + (L_1 / L) d_{yb}, \text{ (但し } L = L_1 + L_2 \text{ )}$$

6. イオンビームをx方向に平行走査してターゲットに照射する装置であつて、当該イオンビームのビーム電流を計測する複数の検出器が前記x方向にそれぞれ並設されて成る前段多点ファラデーおよび後段多点ファラデーをターゲットの上流側および下流側にそれぞれ有しているイオン注入装置において、

前記前段多点ファラデーの上流側近傍に設けられていて前記イオンビームを遮

することができるものであって前記  $x$  方向に平行な一辺を有する前段ビーム制限シャッターと、

この前段ビーム制限シャッターを前記  $x$  方向と直交する  $y$  方向に駆動する前段シャッター駆動装置と、

前記後段多点ファラデーの上流側近傍に設けられていて前記イオンビームを遮ることができるものであって前記  $x$  方向に平行な一辺を有する後段ビーム制限シャッターと、

この後段ビーム制限シャッターを前記  $y$  方向に駆動する後段シャッター駆動装置とを備えており、

更に、(a)前記前段シャッター駆動装置によって前記前段ビーム制限シャッターを前記  $y$  方向に駆動しつつ、当該前段ビーム制限シャッターの前記一辺の外側を通過して前記前段多点ファラデーに入射するイオンビームのビーム電流の変化を計測して、前記前段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記  $y$  方向のビーム電流密度分布を求める前段ビーム電流密度分布計測処理と、(b)この前段ビーム電流密度分布計測処理で求めたビーム電流密度分布から、前記前段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記  $y$  方向の中心位置  $y_{cf}$  を求める前段中心位置算出処理と、(c)前記後段シャッター駆動装置によって前記後段ビーム制限シャッターを前記  $y$  方向に駆動しつつ、当該後段ビーム制限シャッターの前記一辺の外側を通過して前記後段多点ファラデーに入射するイオンビームのビーム電流の変化を計測して、前記後段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記  $y$  方向のビーム電流密度分布を求める後段ビーム電流密度分布計測処理と、(d)この後段ビーム電流密度分布計測処理で求めたビーム電流密度分布から、前記後段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記  $y$  方向の中心位置  $y_{cb}$  を求める後段中心位置算出処理と、(e)前記前段中心位置算出処理で求めた前記中心位置  $y_{cf}$ 、前記後段中心位置算出処理で求めた前記中心位置  $y_{cb}$  および前記前段ビーム制限シャッターと前記後段ビーム制限シャッターとの間の距離  $L$  を用いて、次式またはそれと数学的に等価な式に基づいて、前記イオンビームの前記  $y$  方向における角度偏差  $\theta$  を求める角度偏差算出

処理とを行う制御装置を備えていることを特徴とするイオン注入装置。

$$\theta_y = \tan^{-1} \{ (y_{cb} - y_{cf}) / L \}$$

7. イオンビームを  $x$  方向に平行走査してターゲットに照射する装置であつて、当該イオンビームのビーム電流を計測する複数の検出器が前記  $x$  方向にそれぞれ並設されて成る前段多点ファラデーおよび後段多点ファラデーをターゲットの上流側および下流側にそれぞれ有しているイオン注入装置において、

前記前段多点ファラデーの上流側近傍に設けられていて前記イオンビームを遮ることができるものであつて前記  $x$  方向に平行な一辺を有する前段ビーム制限シャッターと、

この前段ビーム制限シャッターを前記  $x$  方向と直交する  $y$  方向に駆動する前段シャッター駆動装置と、

前記後段多点ファラデーの上流側近傍に設けられていて前記イオンビームを遮ることができるものであつて前記  $x$  方向に平行な一辺を有する後段ビーム制限シャッターと、

この後段ビーム制限シャッターを前記  $y$  方向に駆動する後段シャッター駆動装置とを備えており、

更に、(a) 前記前段シャッター駆動装置によって前記前段ビーム制限シャッターを前記  $y$  方向に駆動しつつ、当該前段ビーム制限シャッターの前記一辺の外側を通過して前記前段多点ファラデーに入射するイオンビームのビーム電流の変化を計測して、前記前段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記  $y$  方向のビーム電流密度分布を求める前段ビーム電流密度分布計測処理と、(b) この前段ビーム電流密度分布計測処理で求めたビーム電流密度分布から、前記前段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記  $y$  方向のビームサイズ  $d_{yf}$  を求める前段ビームサイズ算出処理と、(c) 前記後段シャッター駆動装置によって前記後段ビーム制限シャッターを前記  $y$  方向に駆動しつつ、当該後段ビーム制限シャッターの前記一辺の外側を通過して前記後段多点ファラデーに入射するイオンビームのビーム電流の変化を計測して、前記後段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記  $y$  方向のビーム電流密度分布を求める後段

ビーム電流密度分布計測処理と、(d)この後段ビーム電流密度分布計測処理で求めたビーム電流密度分布から、前記後段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記y方向のビームサイズ $d_{yb}$ を求める後段ビームサイズ算出処理と、(e)前記前段ビームサイズ算出処理で求めた前記ビームサイズ $d_{yf}$ 、前記後段ビームサイズ算出処理で求めた前記ビームサイズ $d_{yb}$ および前記前段ビーム制限シャッターと前記後段ビーム制限シャッターとの間の距離Lを用いて、次式またはそれと数学的に等価な式に基づいて、前記イオンビームの前記y方向における発散角 $\alpha_{max}$ を求める発散角算出処理とを行う制御装置を備えていることを特徴とするイオン注入装置。

$$\alpha_{max} = \tan^{-1} \{ (d_{yb} - d_{yf}) / 2L \}$$

8. イオンビームをx方向に平行走査してターゲットに照射する装置であって、当該イオンビームのビーム電流を計測する複数の検出器が前記x方向にそれぞれ並設されて成る前段多点ファラデーおよび後段多点ファラデーをターゲットの上流側および下流側にそれぞれ有しているイオン注入装置において、

前記前段多点ファラデーの上流側近傍に設けられていて前記イオンビームを遮ることができるものであって前記x方向に平行な一边を有する前段ビーム制限シャッターと、

この前段ビーム制限シャッターを前記x方向と直交するy方向に駆動する前段シャッター駆動装置と、

前記後段多点ファラデーの上流側近傍に設けられていて前記イオンビームを遮ることができるものであって前記x方向に平行な一边を有する後段ビーム制限シャッターと、

この後段ビーム制限シャッターを前記y方向に駆動する後段シャッター駆動装置とを備えており、

更に、(a)前記前段シャッター駆動装置によって前記前段ビーム制限シャッターを前記y方向に駆動しつつ、当該前段ビーム制限シャッターの前記一边の外側を通過して前記前段多点ファラデーに入射するイオンビームのビーム電流の変化を計測して、前記前段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記

y 方向のビーム電流密度分布を求める前段ビーム電流密度分布計測処理と、(b) この前段ビーム電流密度分布計測処理で求めたビーム電流密度分布から、前記前段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記 y 方向のビームサイズ  $d_{y_f}$  を求める前段ビームサイズ算出処理と、(c) 前記後段シャッター駆動装置によって前記後段ビーム制限シャッターを前記 y 方向に駆動しつつ、当該後段ビーム制限シャッターの前記一辺の外側を通過して前記後段多点ファラデーに入射するイオンビームのビーム電流の変化を計測して、前記後段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記 y 方向のビーム電流密度分布を求める後段ビーム電流密度分布計測処理と、(d) この後段ビーム電流密度分布計測処理で求めたビーム電流密度分布から、前記後段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記 y 方向のビームサイズ  $d_{y_b}$  を求める後段ビームサイズ算出処理と、(e) 前記前段ビームサイズ算出処理で求めた前記ビームサイズ  $d_{y_f}$ 、前記後段ビームサイズ算出処理で求めた前記ビームサイズ  $d_{y_b}$ 、前記前段ビーム制限シャッターと前記後段ビーム制限シャッターとの間の距離 L、前記前段ビーム制限シャッターと前記ターゲットとの間の距離  $L_1$  および前記ターゲットと前記後段ビーム制限シャッターとの間の距離  $L_2$  を用いて、次式またはそれと数学的に等価な式に基づいて、前記ターゲット上でのイオンビームの前記 y 方向におけるビームサイズ  $d_{yt}$  を求めるビームサイズ算出処理とを行う制御装置を備えていることを特徴とするイオン注入装置。

$$d_{yt} = (L_2 / L) d_{y_f} + (L_1 / L) d_{y_b}, \text{ (但し } L = L_1 + L_2 \text{ )}$$

9. 前記制御装置が、更に、(a) 前記前段ビーム電流密度分布計測処理で求めたビーム電流密度分布から、前記前段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記 y 方向のビームサイズ  $d_{y_f}$  を求める前段ビームサイズ算出処理と、(b) 前記後段ビーム電流密度分布計測処理で求めたビーム電流密度分布から、前記後段ビーム制限シャッターの位置での前記イオンビームの前記 y 方向のビームサイズ  $d_{y_b}$  を求める後段ビームサイズ算出処理と、(c) 前記前段ビームサイズ算出処理で求めた前記ビームサイズ  $d_{y_f}$ 、前記後段ビームサイズ算出処理で求めた前記ビームサイズ  $d_{y_b}$  および前記前段ビーム制限シャッターと前記後段ビーム

制限シャッターとの間の距離Lを用いて、次式またはそれと数学的に等価な式に基づいて、前記イオンビームの前記y方向における発散角 $\alpha_{\max}$ を求める発散角算出処理とを行うことを特徴とする請求の範囲第6項に記載のイオン注入装置。

$$\alpha_{\max} = \tan^{-1} \{ (d_{yb} - d_{yf}) / 2L \}$$

10. 前記制御装置が、更に、前記前段ビームサイズ算出処理で求めた前記ビームサイズ $d_{yf}$ 、前記後段ビームサイズ算出処理で求めた前記ビームサイズ $d_{yb}$ 、前記前段ビーム制限シャッターと前記後段ビーム制限シャッターとの間の距離L、前記前段ビーム制限シャッターと前記ターゲットとの間の距離 $L_1$ および前記ターゲットと前記後段ビーム制限シャッターとの間の距離 $L_2$ を用いて、次式またはそれと数学的に等価な式に基づいて、前記ターゲット上のイオンビームの前記y方向におけるビームサイズ $d_{yt}$ を求めるビームサイズ算出処理を行うことを特徴とする請求の範囲第9項記載のイオン注入装置。

$$d_{yt} = (L_2 / L) d_{yf} + (L_1 / L) d_{yb}, \text{ (但し } L = L_1 + L_2 \text{ )}$$

図 1

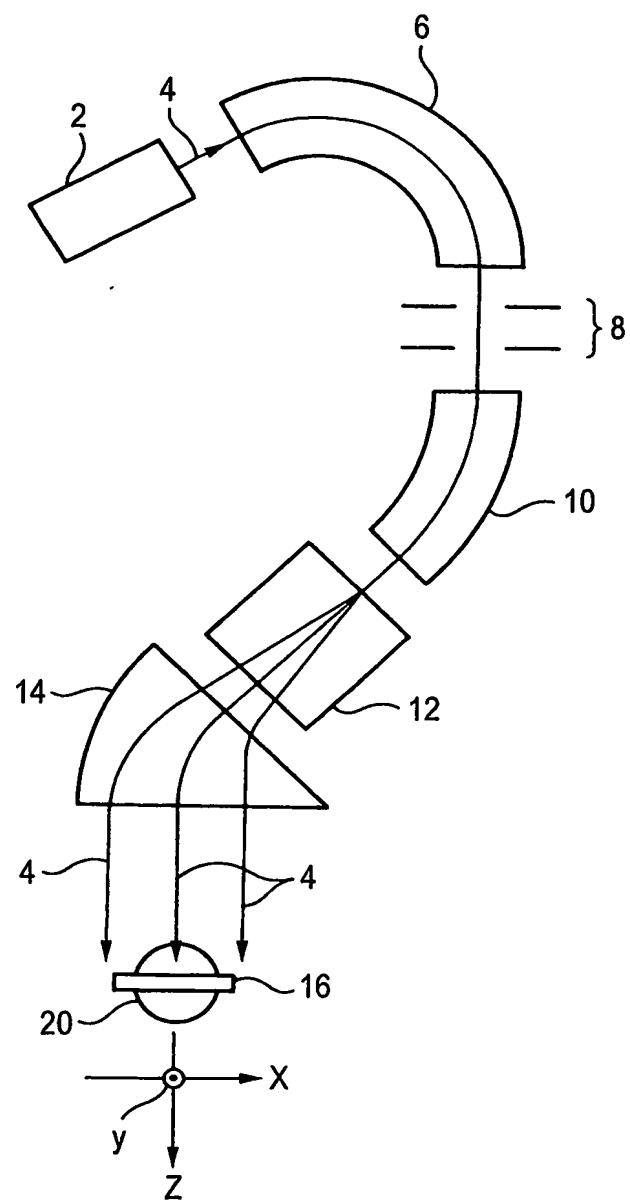


図 2

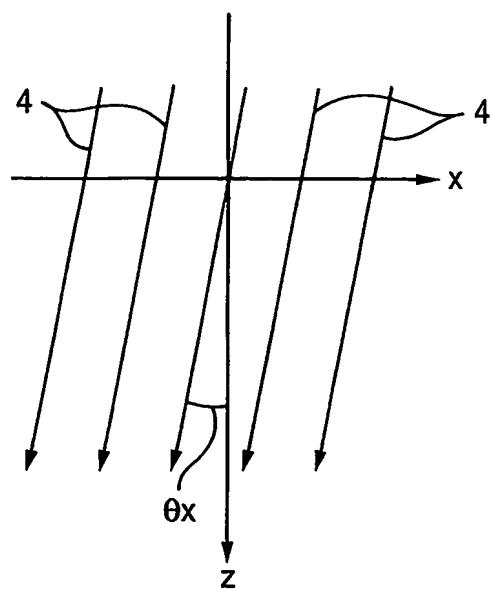


図 3

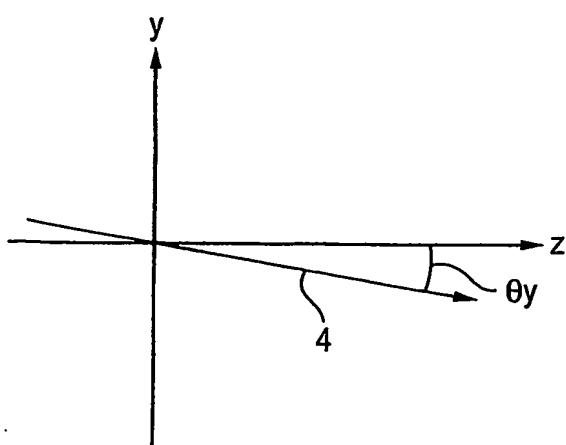


図 4

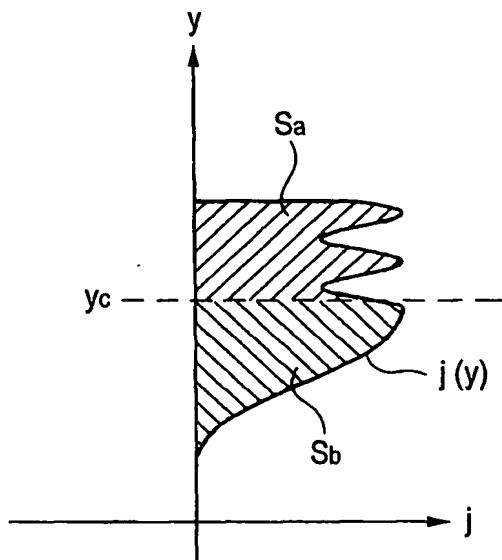


図 5

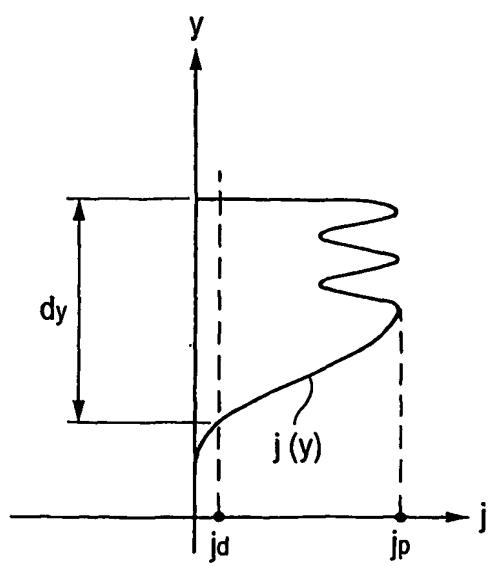


図 6

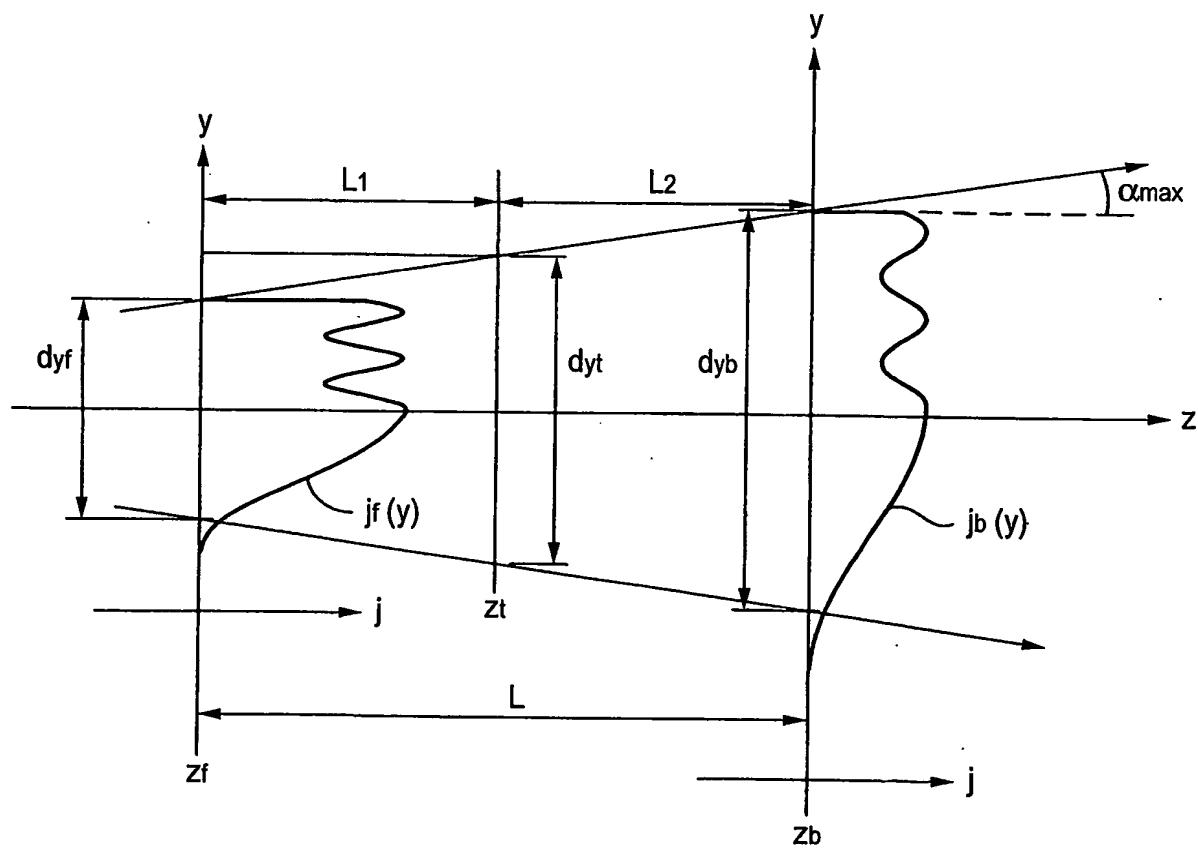


図 7

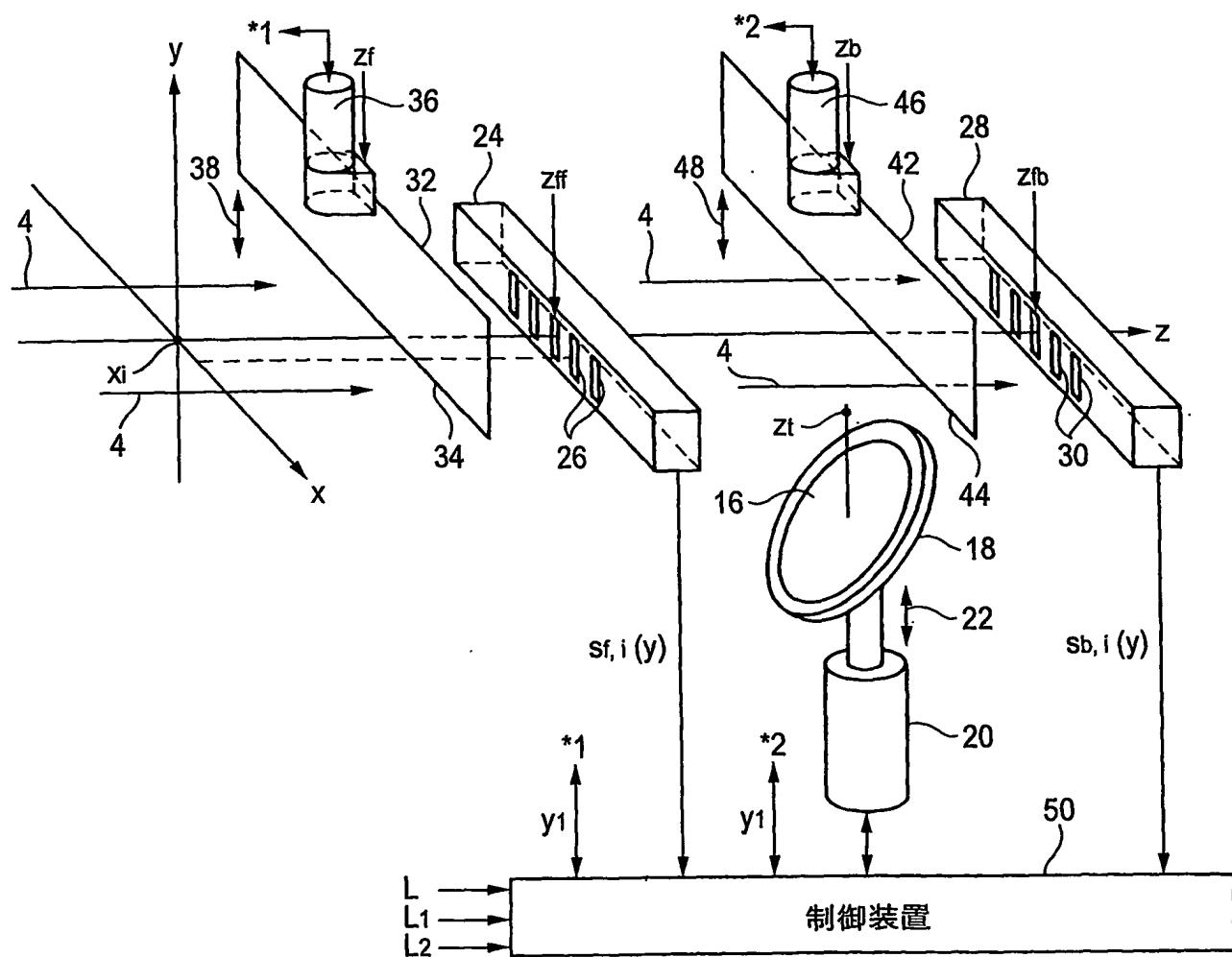


図 8

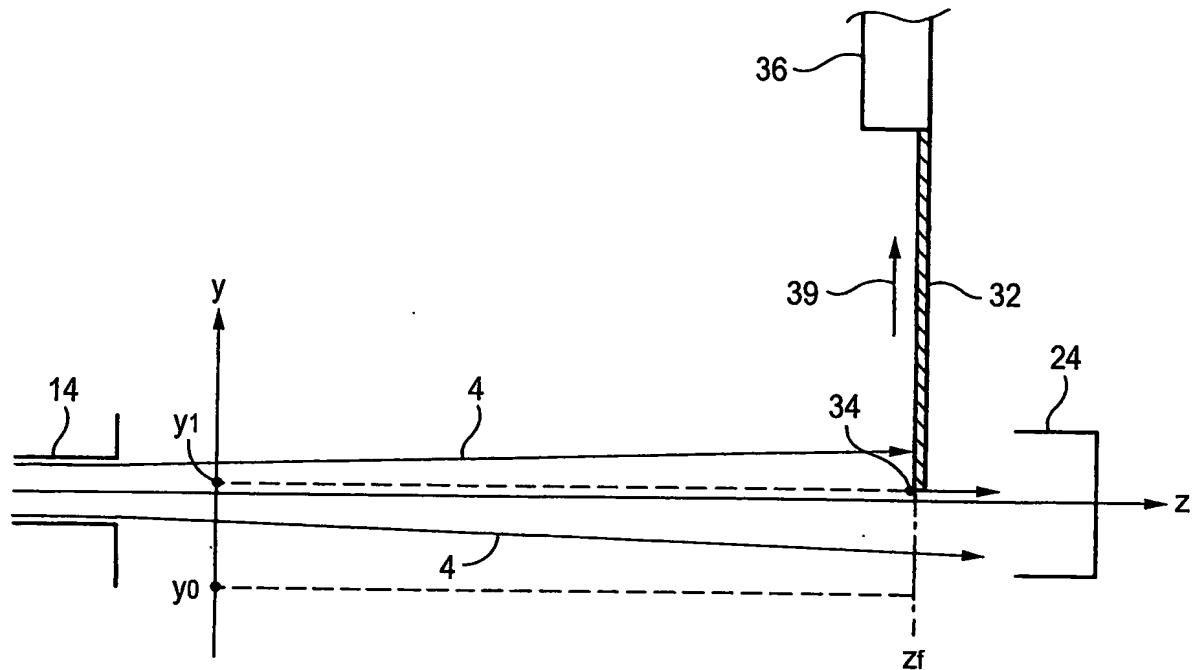


図 9

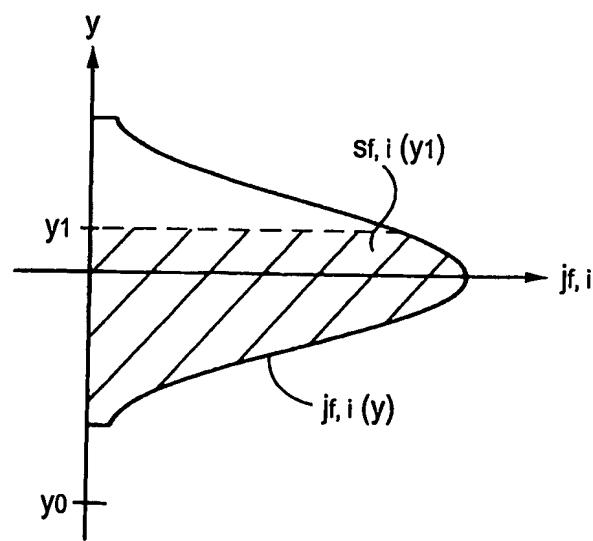
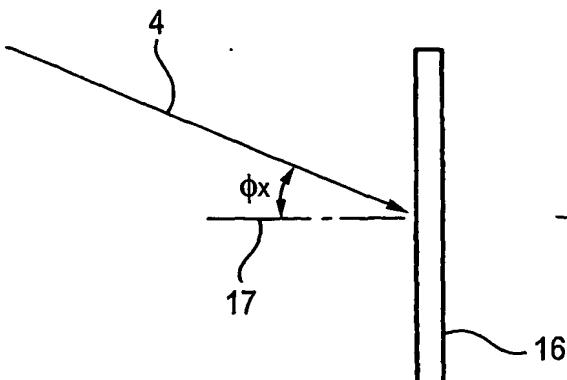
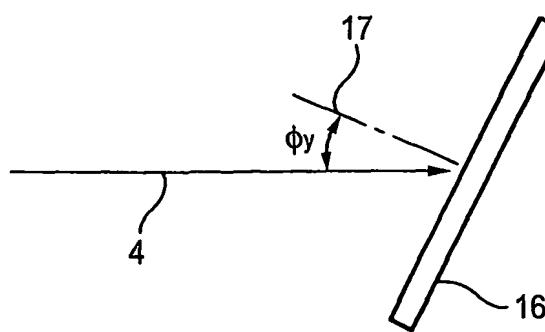


図10

(A)



(B)



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/019833

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl' G01T1/29, G21K5/04, H01J37/317, H01J37/04, H01L21/265

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl' G01T1/00-7/12, G21K5/04, H01J37/317, H01J37/04, H01L21/265

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 4-319242 A (Nissin Electric Co., Ltd.), 10 November, 1992 (10.11.92), Column 1, line 26 to column 2, line 29; Fig. 3 (Family: none)	1-10
Y	JP 10-319196 A (Hitachi, Ltd.), 04 December, 1998 (04.12.98), Full text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 5-089811 A (Nissin Electric Co., Ltd.), 09 April, 1993 (09.04.93), Full text; all drawings (Family: none)	1-10

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

Special categories of cited documents:	
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E"	earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&"	document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
29 March, 2005 (29.03.05)Date of mailing of the international search report  
12 April, 2005 (12.04.05)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2004/019833

**C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 10-177074 A (Nissin Electric Co., Ltd.), 30 June, 1998 (30.06.98), Full text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 56-042115 A (Fujitsu Ltd.), 20 April, 1981 (20.04.81), Full text; all drawings (Family: none)	1-10

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. C1' G01T1/29, G21K5/04, H01J37/317, H01J37/04,  
H01L21/265

## B. 調査を行った分野

## 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. C1' G01T1/00-7/12, G21K5/04, H01J37/317, H01J37/04,  
H01L21/265

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年

## 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 4-319242 A (日新電機株式会社) 1992. 11. 10, 第1欄第26行目-第2欄第29行目, 第 3図, (ファミリーなし)	1-10
Y	JP 10-319196 A (株式会社日立製作所) 1998. 12. 04, 全文, 全図, (ファミリーなし)	1-10
A	JP 5-089811 A (日新電機株式会社) 1993. 04. 09, 全文, 全図, (ファミリーなし)	1-10

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

- 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
- 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
- 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
- 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
- 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

- 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
- 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
- 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
- 「&」同一パテントファミリー文献

## 国際調査を完了した日

29. 03. 2005

## 国際調査報告の発送日

12. 4. 2005

## 国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

## 特許庁審査官 (権限のある職員)

中塚 直樹

2M 3104

電話番号 03-3581-1101 内線 3226

C (続き) 関連すると認められる文献		関連する請求の範囲の番号
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	
A	JP 10-177074 A (日新電機株式会社) 1998. 06. 30, 全文, 全図, (ファミリーなし)	1-10
A	JP 56-042115 A (富士通株式会社) 1981. 04. 20, 全文, 全図, (ファミリーなし)	1-10